

В. И. ПУДОВ, Ю. Я. РЕУТОВ  
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»  
Екатеринбург, Россия

При производстве анизотропных электротехнических сталей на основе Fe-3%Si с ребровой кристаллографической текстурой (110)[001], в частности, марок 3406–3410 (ГОСТ 21427.1–83), а также аморфных материалов, формируется острая кристаллографическая и магнитная текстуры, приводящие к появлению крупных зерен и магнитных доменов. В результате этого при их эксплуатации в разных по назначению электротехнических устройствах возрастают при перемагничивании материала вихретоковые магнитные потери  $P_v$  (до 70%).

Для сужения доменов и снижения магнитных потерь применяют локальную лазерную обработку (ЛЛО). С её помощью на поверхность ленточных образцов наносят структурные зоны – узкие участки, отличающиеся по структуре от основного материала [1, 2].

Экспериментальными исследованиями выявлено, что эффект ЛЛО снижающий магнитные потери в магнитомягких сплавах зависит не только от степени текстурованности материала, толщины и размеров ленты, но в значительной степени, от подбора оптимальной плотности энергии облучения (приводящей к минимуму  $P_v$ ) и ее вариационным изменениям по длине ленты (~10%). Этот параметр существенно зависит от нестабильности излучения, неоднородности структуры ленты и отражательной способности ее поверхности.

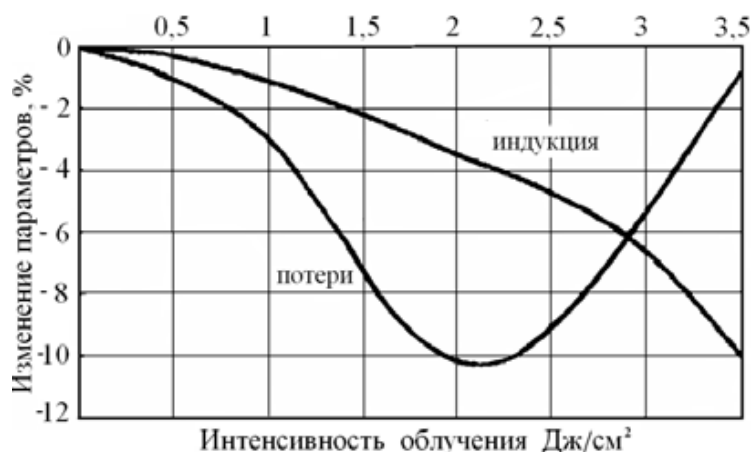


Рис. 1. Зависимость магнитных потерь  $P_{1,7/50}$  и индукции  $B_{100}$  в стали от ЛЛО

Перспективность применения данного метода обусловлена тем, что вблизи поверхности ленточных образцов над зонами лазерного воздействия

формируются магнитные поля рассеяния периодически измененной доменной структуры, напряжённость которых зависит от интенсивности проводимой лазерной обработки.

Таким образом, измеряя напряженность поля рассеяния от зон лазерной обработки, можно управлять интенсивностью лазерного облучения.

То есть практическая реализация феррозондового метода связана с обнаруженной корреляцией между изменениями магнитных потерь  $P_{1,7/50}$  (при амплитуде  $B \sim 1,7$  Тл и частоте  $f \sim 50$  Гц) и снижением магнитной индукции  $B_{100}$  (индукция в поле 100 А/м), соответствующим увеличению магнитного поля рассеяния  $H_p$  в зонах лазерного воздействия, при управлении плотностью энергии излучения  $CO_2$ -лазера. Как показали исследования, минимальным магнитным потерям в электротехнической стали марки 3407 соответствует 4–5 % снижение индукции при интенсивности воздействия в 2– 2,5 Дж/см<sup>2</sup> (рис. 1).

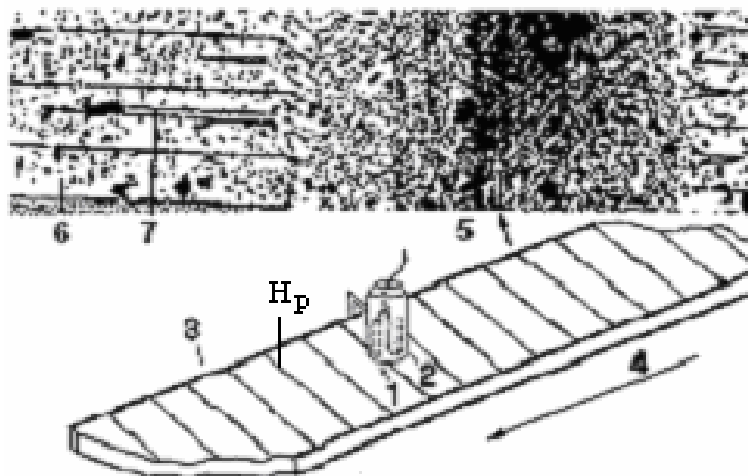


Рис. 2. 1 и 2 – МЧЭ; 3 – сталь; 4 – направление; 5 – зоны ЛЛО; 6 – узкие 180-градусные полосовые и 7 – клиновидные замыкающие домены-зародыши перемангничивания;  $H_p$  – магнитное поле рассеяния в зоне воздействия ЛО

В обрабатываемом экспериментальном образце трансформаторной стали, поддержание максимума снижения магнитных потерь при воздействии лазерной обработки обеспечивается сохранением оптимальной амплитуды сигнала, возникающего на миниатюрных магниточувствительных элементах (МЧЭ), феррозондового преобразователя (феррозонд), при прохождении вблизи них полей рассеяния  $H_p$  от зон лазерного воздействия (рис. 3).

При исследовании феррозондовый преобразователь с магниточувствительными элементами 1 и 2 (их размер 0,1x2,5 мм) размещался вертикально на высоте 1 мм над полосовым образцом 3 трансформаторной стали толщиной 0,3 мм, шириной 30 мм и длиной 480 мм и над образцами в виде лент. Причем магниточувствительные элементы 1 и 2, установленные параллельно друг другу на расстоянии 2 мм один от другого, располагались вдоль длинной стороны образца посередине его ширины.

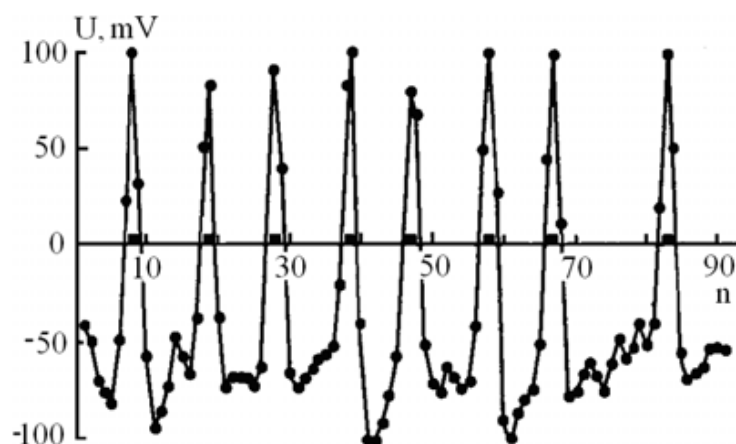


Рис. 3. Амплитуды оптимального сигнала феррозонда от магнитных полей над зонами ЛО (положение зон на образце обозначены квадратами на оси абсцисс)

Градиентометрический способ соединения магниточувствительных элементов позволил измерять горизонтальный градиент вертикальной составляющей магнитных полей рассеяния  $H_r$ , формируемых спонтанной намагниченностью в зонах воздействия лазерной обработки электротехнической стали. Их величина интенсивности достаточно четко фиксируется стрелочным или цифровым индикаторами феррозондовой аппаратуры (рис. 3).

Таким образом, разработанная специальная феррозондовая аппаратура позволяет повысить эффективность лазерной обработки магнитомягких материалов и сплавов, что является основой создания перспективной технологии производства электротехнических сталей и сплавов с минимальным уровнем электромагнитных потерь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгошанский, Ю. Н. Управление доменной структурой как средство оптимизации магнитных свойств анизотропной электротехнической стали / Ю. Н. Драгошанский, Б. К. Соколов // Изв.АН СССР, Физика. –1989. – Т.53. – №4. – С. 610–613.

2. Nozawa T., Mizogami M., Mogi H., Matsuo Y. Magnetic properties and dynamic domain behavior in grain-oriented 3% Si-Fe // IEEE Trans Magn, –1996. –V.32. – №2. – P. 572–589.

E-mail: pudov@imp.uran.ru